

Liều hiệu dụng đối với chiếu xạ ngoài trong trường hợp nhiễm bản các bức xạ photon ở trong đất

Trần Văn Hùng

Tóm tắt – Liều cơ quan và liều hiệu dụng của người trưởng thành đối với chiếu ngoài trong trường hợp nhiễm bản các bức xạ photon ở trong đất đã được tính sử dụng chương trình MCNP và phantom MIRD-5. Sự tính toán được thực hiện cho các nguồn photon đơn năng với những nguồn năng lượng từ 0,01 MeV đến 5 MeV. Hệ số chuyển đổi liều trong tính toán sử dụng chương trình MCNP cũng được so sánh với kết quả tính toán trong công trình của Keith F. Eckerman và Jeffrey C. Ryman.

Từ khóa – Bioreactor dạng ống, tảo *S. platensis*, TPBR, Photobioreactor dạng ống

1 GIỚI THIỆU

Năm 1990, Ủy ban Quốc tế về An toàn Bức xạ (ICRP) đã đề nghị xem liều hiệu dụng E như là một thước đo của liều chiếu cá nhân. Tuy nhiên, không thể đo hay đánh giá E một cách trực tiếp. Để thực hiện cho mục đích này, các kỹ thuật Monte Carlo kết hợp với phantom hình người được sử dụng. Một số công trình tính toán liều hiệu dụng đối với chiếu ngoài do các nhiễm bản khác nhau như đất, không khí và nước đã được tính toán. Năm 1974, Poston và Snyder [8] thực hiện nghiên cứu tính toán nhiễm bản phóng xạ trong môi trường không khí bán vô hạn; năm 1981, D.C. Kocher [6,7] đã tính toán liều hiệu dụng nhiễm bản trong nước và đất bán vô hạn. năm 1993, Keith F. Eckerman và Jeffrey C. Ryman [5] đã kết hợp phương pháp tung độ gián đoạn và phương pháp Monte Carlo để giải phương trình vận chuyển photon cho nguồn photon được phân bố trong môi trường; năm 1995, K. Saito và P. Jacob [9] tính liều cơ quan từ nguồn phóng xạ phân bố đồng đều trong không khí sử dụng phương pháp Monte Carlo. Tất cả các công trình này đều tính toán liều hiệu dụng dựa trên nguồn bức xạ nhiễm bản trong môi trường với sự phân bố đồng đều và trong trường hợp nguồn đơn năng từ 10 keV đến 5 MeV. Để tính liều hiệu dụng cho các đồng vị phát đa

Ngày nhận bản thảo: 06-01-2017, ngày chấp nhận đăng: 25-10-2017, ngày đăng: 10-08-2018

Tác giả: Trần Văn Hùng – Trung tâm Nghiên cứu Phát triển Bức xạ (email- tranhungkeikonew@gmail.com)

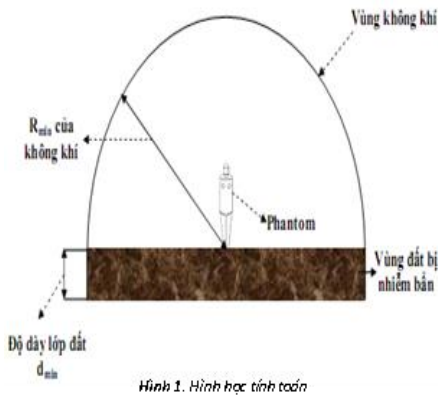
năng, người ta xem rằng liều như là một hàm của năng lượng và dùng phương pháp nội suy liều cho từng mức năng lượng [11].

Trong báo cáo này, trình bày kết quả tính toán liều cơ quan và liều hiệu dụng của người trưởng thành từ nguồn gamma nhiễm bản trong đất tương ứng với 12 mức năng lượng từ 0,01 MeV đến 5 MeV dùng chương trình MCNP và phantom hình người MIRD-5.

2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Trong công trình này, chương trình MCNP phiên bản 4C2 và phantom hình người trưởng thành [1 - 4] được sử dụng. Chương trình MCNP được phát triển bởi Phòng Thí nghiệm Quốc gia Los Alamos - Hoa Kỳ. Chương trình MCNP là một chương trình đa mục đích sử dụng phương pháp Monte Carlo để mô phỏng các quá trình vật lý mang tính thống kê cho các hạt neutron, photon và electron. Tiết diện của bức xạ của photon được lấy từ thư viện hạt nhân ENDF/B-IV. Phantom MIRD-5 có năm dạng phantom: phantom trẻ sơ sinh, phantom hình người 5 tuổi, phantom hình người 10 tuổi, phantom hình người 15 tuổi và phantom hình người trưởng thành 21 tuổi. Trong công trình này, dạng phantom hình người trưởng thành được sử dụng.

Cấu hình tính toán sử dụng chương trình MCNP được đưa ra trong Hình 1, bao gồm vùng đất bị nhiễm bản các đồng vị phóng xạ (vùng nguồn) và vùng không khí. Vùng nguồn được mô tả là một hình trụ bán kính R_{min} và độ dày là d_{min} . Bức xạ photon của các nhân phóng xạ nhiễm bản trong đất được xem là phân bố đồng đều với cường độ là 1 Bq/m^3 . Phantom hình người trưởng thành MIRD-5 được đứng trên mặt đất và bao quanh là bán cầu không khí có bán kính cực tiểu R_{min} .



Hình 1. Hình học tính toán

Trong đó, giá trị R_{min} đối với các mức năng lượng gamma được lấy từ công trình [10], d_{min} sẽ được khảo sát trong công trình này. Trong tính toán, mật độ của không khí là $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^3$, mật độ của đất là $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ và các thành phần của chúng được trình bày trong [5].

3 CÁC BƯỚC TÍNH TOÁN

Xác định độ dày vùng nguồn

Để tính toán hiệu quả liều trong cơ quan sử dụng chương trình MCNP, một điều quan trọng là tối ưu hoá kích thước vùng nguồn nhằm giảm quá trình lấy mẫu thống kê và như vậy giảm thời gian chạy của máy tính. Độ dày lớp đất nguồn d_{min} có thể được xác định bằng cách đánh giá giá kerma K_{air} trong không khí tại vị trí cách mặt đất 1 m với độ dày khác nhau của vùng nguồn. K_{air} phụ thuộc vào độ dày vùng nguồn d và là một hàm của d . Độ dày tối thiểu vùng nguồn d_{min} được xác định khi $K_{air}(d)$ là một hằng số. $K_{air}(d)$ của nguồn photon năng lượng E_0 phân bố đồng đều trong vùng đất hình trụ được xác định bởi:

$$K_{air}(d) = \sum_i k(E_i) \Phi_i(E_i, d) \quad (1)$$

Trong đó E_i là năng lượng trung bình trong khoảng năng lượng i , $\Phi_i(E_i, d)$ là thông lượng photon ứng với nguồn hoạt độ 1 Bq/m^3 ở trong đất với năng lượng E_i , $k(E_i)$ là hệ số chuyển đổi cho kerma không khí đối với một đơn vị thông lượng của nguồn photon đơn năng. Hệ số này được lấy từ tài liệu ICRP-74 [12]. Thông lượng $\Phi_i(E_i, d)$ được tính bằng chương trình MCNP dùng Tally F5 tại vị trí cách mặt đất 1 m. Tally F5 là một taly chuẩn trong MCNP dùng để tính thông lượng chùm hạt tại một điểm.

Độ dày lớp đất cực tiểu d_{min} tương ứng cho các nguồn đơn năng từ 0,01 MeV đến 5 MeV được

đưa ra trong Bảng 1; trong đó ký hiệu mfp là quãng chạy tự do trung bình đối với photon năng lượng E trong đất.

Bảng 1. Độ dày lớp đất cực tiểu của vùng nguồn với 12 mức năng lượng từ 0,01 MeV đến 5 MeV

Năng lượng (MeV)	Độ dày đất cực tiểu d_{min}	
	(mfp)	(cm)
0,010	7	0,2114
0,015	7	0,6993
0,020	7	1,6660
0,030	7	4,8860
0,050	7	13,7900
0,070	7	20,0900
0,100	7	25,8300
0,200	7	34,0900
0,500	5	34,700
1,000	4	38,0400
2,000	4	54,4000
5,000	3	61,8000

Tính liều cơ quan và liều hiệu dụng từ nguồn đơn năng

Ở đây tính liều tương đương HT [5] của cơ quan và liều hiệu dụng E cho các nguồn photon đơn năng ở 12 mức năng lượng từ 0,01 MeV đến 5 MeV dựa vào phantom MIRD-5 người trưởng thành. Liều cơ quan được tính bằng tally F6 liên quan với hệ số f_m dựa vào card FM6 trong MCNP. Tally F6 có thể tính năng lượng của photon để lại trong vùng. Tuy nhiên tally F6 được chuẩn hóa theo nguồn hạt và đơn vị của F6 là MeV/g.

Để tính được năng lượng để lại trong mô hoặc cơ quan mang đơn vị Gy thì phải được chuẩn hóa bằng cách sử dụng hệ số chuyển đổi sau :

$$f_m = \left[\frac{1,602 \times 10^{-6} \text{ ergs/MeV}}{100 \text{ ergs/g}} \times 100^{-1} \right] \times \left[\pi (R_{min})^2 \cdot d_{min} \cdot \eta \right]$$

- Ngoặc vuông thứ nhất là hệ số chuyển đơn vị từ (MeV/g) sang Gy;

- Ngoặc vuông thứ hai là hệ số của cường độ nguồn bức xạ;

- Cường độ nguồn bức xạ bằng thể tích của vùng nguồn (m^3) nhân với nồng độ bức xạ trong đất $\eta = 1 \text{ Bq/m}^3$. Liều cơ quan tính theo đơn vị Gy.

Trong trường hợp toàn thân bị chiếu, người ta dùng liều hiệu dụng E được tính:

$$E = \sum_T W_T H_T \quad (2)$$

Trong đó, H_T là liều tương đương trong mô hoặc cơ quan T và W_T là trọng số mô đặc trưng cho cơ quan T. Giá trị của W_T được lấy trong [5].

4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Liều cơ quan

Liều cơ quan của phantom MIRD-5 người trưởng thành đối với các nguồn bán vô hạn ở 12 mức năng lượng từ 0,01 MeV đến 5 MeV được đưa ra trong Bảng 2.

Từ Bảng 2, sai số tương đối (sai số thống kê trong MCNP) của liều cơ quan phụ thuộc vào vị trí của các cơ quan nằm trong cơ thể và phụ thuộc vào năng lượng photon. Ví dụ, ở năng lượng thấp, có sai số tương đối tương đối lớn (>10 %), nhưng ở năng lượng cao (>30 keV) thì sai số tương đối tốt dưới 5 %. Lý do, đối với những mức năng lượng thấp hơn đặc biệt là ở những mức năng lượng 10 keV và 15 keV, việc tính liều cho các cơ quan nằm sâu bên trong là khó chính xác, vì các photon năng lượng thấp khó có thể tới được các cơ quan này.

Liều hiệu dụng

Bảng 3 trình bày kết quả tính liều hiệu dụng E theo công thức (2) và chỉ tính cho những cơ quan có sai số tương đối dưới 5%, một số số liệu tính toán liều cơ quan ở vùng năng lượng thấp có sai số lớn không đưa vào tính toán liều hiệu dụng E. Mặc dù vậy, chúng cũng không làm ảnh hưởng đến kết quả tính liều tương đương vì liều cơ quan ở vùng năng lượng thấp nhỏ hơn nhiều bậc so với liều cơ quan ở vùng năng lượng cao, sự đóng góp của chúng vào liều tương đương E là không đáng kể. Chính vì vậy sai số các kết quả trong Bảng 3 và Bảng 4 của công trình này là nhỏ hơn 5 %.

Bảng 3. Liều hiệu dụng E của phantom MIRD-5 người trưởng thành (Sv/Bq.s.m⁻³)

Năng lượng (MeV)	Liều hiệu dụng E	
	Kết quả trong báo cáo	Kết quả trong FGR-12
0,010	7,09E-23	1,08E-22
0,015	1,13E-21	1,67E-21
0,020	5,92E-21	8,60E-21
0,030	4,27E-20	5,28E-20
0,050	3,08E-19	3,25E-19
0,070	8,08E-19	8,20E-19
0,100	1,71E-18	1,74E-18
0,200	4,83E-18	4,94E-18
0,500	1,43E-17	1,46E-17
1,000	3,12E-17	3,18E-17
2,000	6,86E-17	7,02E-17
5,000	1,81E-16	1,88E-16

Liều tương đương trong tính toán sử dụng chương trình MCNP cũng được so sánh với kết quả tính toán trong FGR-12 của Keith F. Eckerman và Jeffrey C. Ryman [5]. Trong công trình của F. Eckerman và Jeffrey C. Ryman dùng phương pháp Monte Carlo và phương pháp tung độ gián đoạn để giải phương trình vận chuyển của

photon đơn năng; trong đó chia làm hai bước: (1) tính toán trường bức xạ đập lên một hình trụ bao quanh phantom và (2) tính toán liều cơ quan do nguồn tương đương đập lên hình trụ này. Ưu điểm của phương pháp F. Eckerman và Jeffrey C. Ryman là tránh được những khó khăn trong tính toán mà những nghiên cứu trước đây gặp phải. Tuy nhiên, phương pháp này cũng có hạn chế là nguồn bề mặt hình trụ chỉ là gần đúng so với nguồn thực.

Bảng 3 cho thấy kết quả liều hiệu dụng trong công trình này và trong công trình của F. Eckerman và cộng sự ở vùng năng lượng trên 50 keV khác nhau chỉ dưới 5 %. Tuy nhiên, kết quả trong báo cáo hầu hết thấp hơn so với công trình của F. Eckerman trong tất cả các vùng năng lượng.

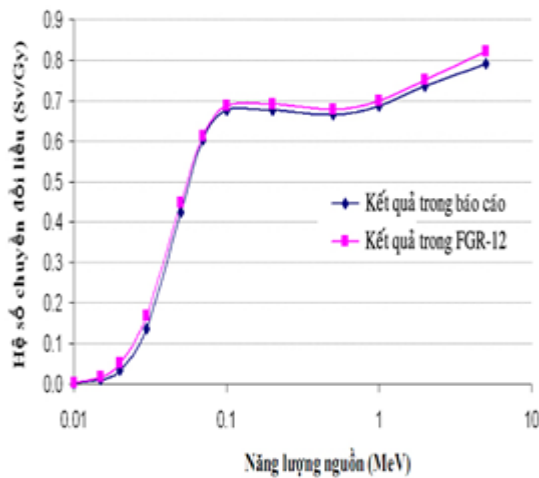
Nguyên nhân của sự khác nhau trong kết quả tính liều giữa công trình này và công trình của F. Eckerman và cộng sự có thể là do sự khác nhau về phương pháp tính toán. Trong báo cáo này, phantom được đặt trong vùng nguồn bán vô hạn và tính liều trực tiếp từ thể tích nguồn thực, còn trong F. Eckerman và cộng sự đã sử dụng phương pháp dùng nguồn hình trụ tương đương với vùng nguồn bán vô hạn bao quanh phantom, sau đó tính liều cơ quan gây ra bởi nguồn mặt hình trụ này.

Hệ số chuyển đổi liều hiệu dụng

Hệ số chuyển đổi liều hiệu dụng là thương số của liều hiệu dụng với kerma không khí E/K_{air} có đơn vị là Gy/Gy hoặc Sv/Gy. Hệ số này được tính cho các nguồn đơn năng. Kết quả tính được đưa ra trong Bảng 4 và Hình 2. Cũng như liều hiệu dụng thì hệ số chuyển đổi liều trong công trình này và trong công trình F. Eckerman và cộng sự khác nhau dưới 5% trong vùng năng lượng trên 50 keV và kết quả trong báo cáo cũng thấp hơn trong tất cả các vùng năng lượng.

Bảng 4. Hệ số chuyển đổi liều hiệu dụng E/K_{air} của phantom MIRD-5 người trưởng thành (Sv/Gy)

Năng lượng (MeV)	Hệ số chuyển đổi liều E/K _{air}	
	Kết quả trong báo cáo	Kết quả trong FGR-12[5]
0,010	0,002	0,003
0,015	0,011	0,016
0,020	0,035	0,050
0,030	0,136	0,168
0,050	0,425	0,449
0,070	0,603	0,612
0,100	0,676	0,688
0,200	0,676	0,692
0,500	0,665	0,679
1,000	0,686	0,699
2,000	0,735	0,752
5,000	0,790	0,821



Hình 2. Hệ số chuyển đổi liều hiệu dụng E/K_{air} của phantom MIRD-5 người trưởng thành

5 KẾT LUẬN

Chương trình MCNP đã được sử dụng để tính liều cơ quan và liều hiệu dụng từ nguồn bán vô hạn đẳng hướng trong đất đối với các nguồn photon đơn năng từ 0,01 MeV đến 5 MeV cho phantom MIRD-5 người trưởng thành.

Các kết quả liều hiệu dụng đối với người trưởng thành cũng được so sánh với kết quả trong công trình của F. Eckerman và cộng sự (FGR-12). Từ sự so sánh cho thấy các kết quả trong công trình này là phù hợp với kết quả của F. Eckerman với sự khác nhau dưới 5%. Từ số liệu tính toán liều hiệu dụng đối với nguồn photon đơn năng có thể tính toán liều hiệu dụng cho các đồng vị đa năng nhiễm bẩn trong đất bằng phương pháp nội suy. Các kết quả này sẽ được trình bày trong các báo cáo tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J.F. Briesmeister, MCNPTM—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C2, Los Alamos, 2000.
- [2]. M. Cristy, K.F. Eckerman, “Specific absorbed fraction of energy at various ages from internal photon sources”, I. Methods ORNL/TM-8381/V, 1987.
- [3]. M. Cristy, “Mathematical Phantoms Representing Children of Various for Use in Estimates of Internal Dose, ORNL/NUREG/TM-367 Oak Ridge National Laboratory”, 1980.
- [4]. K.F. Eckerman, M. Cristy, J.C. Ryman, “The ORNL mathematical phantom series”, Oak Ridge National Laboratory Report, available at <http://homer.hsr.ornl.gov/VLab/VLabPhan.html>, 1996.
- [5]. K.F. Eckerman, J.C. Ryman, “External exposure to radionuclides in air, water and soil, Federal guidance Report”, 12, 1993.
- [6]. D.C. Kocher, “Dose-Rate Conversion Factors for External Exposure to Photons and Electrons, NUREG/CR-1918 (ORNL/NUREG-79) (OAK Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN)”, 1981.
- [7]. D.C. Kocher, Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electrons”, *Health Phys.* 45, pp. 665, 1981.
- [8]. J.W. Poston, W.S. Snyder, “A model for exposure to a semi-infinite cloud of a photon emitter”, *Health Phys.* Vol. 26, pp. 287, 1974.
- [9]. K. Saito, P. Jacob, “Gamma ray fields in the air due to sources in the ground”, *Radiat. Prot. Dosim.*, vol. 58, pp. 29–45, 1995.
- [10]. T.V. Hùng, D. Satoh, F. Takahashi, S. Tsuda, A. Endo, K. Saiko, Y. Yamaguchi “Calculation of age-dependent Dose Conversion Coefficients for Radionuclides Uniformly Distributed in Air”, *JAERI-Tech*, pp. 2004–079, 2005.
- [11]. ICRP, 1990 *Recommendation of the International Commission on Radiation Protection*, ICRP Publication 60 1991.
- [12]. ICRP, *Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation*, ICRP Publication 74 1995.

Bảng 2. Liều các cơ quan của phantom MIRD-5 người trưởng thành
tại 12 mức năng lượng từ 10 keV đến 5 MeV (Gy/Bq.s.m⁻³)

Cơ quan	5 MeV (10 ⁻¹⁶)	2 MeV (10 ⁻¹⁷)	1 MeV (10 ⁻¹⁷)	0,5 MeV (10 ⁻¹⁷)	0,2 MeV (10 ⁻¹⁸)	0,1 MeV (10 ⁻¹⁸)
Tuyến thượng thận	1,70(4,3)	5,91(3,8)	2,78(2,4)	1,27(4,2)	3,96(1,9)	1,45(5,3)
Bề mặt xương	1,99(0,4)	7,80(0,4)	3,97(0,3)	2,27(0,3)	12,46(0,4)	6,77(0,4)
Não	1,84(1,2)	7,06(1,1)	3,17(0,7)	1,44(0,7)	4,76(1)	1,66(1,8)
Vú	1,98(1,8)	7,83(1,5)	3,62(0,9)	1,68(0,8)	5,96(1,5)	2,11(1,8)
Thực quản	1,60(2,4)	5,87(2)	2,61(1,2)	1,14(1,2)	3,86(2,4)	1,25(1,9)
Thành bao tử	1,74(1,4)	6,27(1,2)	2,90(1)	1,29(0,6)	4,41(0,8)	1,57(1)
Thành ruột non	1,70(3)	5,99(1)	2,71(0,8)	1,21(0,7)	4,03(1)	1,35(1,2)
Ruột già trên	1,72(2,1)	6,42(1,8)	2,74(1)	1,28(2,2)	4,24(1,1)	1,64(5,4)
Ruột già dưới	1,72(2)	6,53(1,8)	2,81(1,1)	1,29(1,7)	4,23(1,8)	1,42(1,7)
Túi mật	2,75(2,2)	10,11(1,7)	4,36(1)	1,99(1,1)	6,74(1,2)	2,23(1,7)
Tim	1,70(1,5)	6,38(1,4)	2,91(1,3)	1,27(0,8)	4,36(1,2)	1,47(4,2)
Thận	1,78(2,3)	6,44(1,6)	2,95(0,9)	1,32(1,2)	4,67(2,6)	1,59(1,4)
Gan	1,73(1,1)	6,42(1)	2,89(0,6)	1,32(0,6)	4,54(0,9)	1,60(2,9)
Phổi	1,86(0,9)	7,02(1)	3,21(0,7)	1,45(0,5)	4,99(0,6)	1,78(0,9)
Cơ	1,92(0,4)	7,32(0,3)	3,36(0,2)	1,54(0,2)	5,29(0,3)	1,85(0,5)
Buồng trứng	1,53(4,9)	5,90(4,2)	2,69(2,9)	1,20(2,7)	3,77(3,5)	1,26(2,8)
Tuyến tụy	1,57(2,7)	5,76(2,2)	2,60(2)	1,10(1,2)	3,64(1,3)	1,24(1,6)
Tủy xương	1,89(0,5)	7,14(0,4)	3,20(0,2)	1,45(0,2)	4,69(0,4)	1,49(0,4)
Da	1,59(0,4)	6,30(0,3)	2,98(0,2)	1,40(0,3)	4,89(0,7)	1,71(0,3)
Lá lách	1,74(2,5)	6,72(2,8)	3,09(3,7)	1,32(1,1)	4,56(2,7)	1,60(2,1)
Tinh hoàn	1,89(4,4)	7,46(3,4)	3,47(4,2)	1,62(2,3)	5,59(2,3)	2,07(3)
Tuyến ức	1,87(5,9)	6,74(3,6)	3,01(2,2)	1,36(1,9)	4,69(2,1)	1,61(2,7)
Tuyến giáp	2,54(3,3)	9,81(2,7)	4,61(2,1)	2,25(4)	7,21(3,2)	2,54(1,6)
Bàng quang	1,77(2)	6,46(1,6)	2,78(0,9)	1,34(2,7)	4,34(1)	1,47(1)
Tử cung	1,71(2,9)	6,21(1,8)	2,83(1,2)	1,29(1,2)	4,28(1,5)	1,54(1,5)
						-
Tthượng thận	5,94(4,1)	2,20(6,7)	1,94(7,1)	3,81-22(12)	1,05-24(65)	9,92-24(0,8)
Bề mặt xương	40,3(0,5)	10,8(0,4)	24,5(0,3)	2,18-20(0,3)	2,04-21(0,3)	-
Não	7,54(1,4)	2,66(1,4)	1,76(1,9)	1,83-22(4)	2,56-25(22)	1,81-22(0,8)
Vú	10,5(1,1)	4,87(1,3)	12,6(1,1)	2,87-20(0,7)	6,07-21(0,7)	-
Thực quản	5,34(2,2)	1,58(2,5)	0,65(9,2)	2,38-23(23)	2,16-26(68)	-
Thành bao tử	7,34(1,6)	2,62(1,3)	2,61(1,9)	1,05-21(2,5)	1,92-23(7,6)	-
Thành ruột non	5,93(1)	1,93(1,2)	1,20(1,6)	1,99-22(3,2)	8,14-25(14)	-
Ruột già trên	6,64(1,5)	2,28(1,7)	1,74(3,5)	3,70-22(6)	7,72-25(24)	-
Ruột già dưới	6,19(1,2)	2,15(2,3)	1,31(4,1)	1,53-22(6,8)	5,12-25(45)	-
Túi mật	9,97(2,1)	3,28(2,4)	1,98(3,1)	2,59E-22(9)	3,46-25(43)	2,91-27(57)
Tim	6,75(1,5)	2,48(1,8)	1,94(1,7)	6,85-22(3,2)	1,89-23(5,5)	-
Thận	7,49(1,3)	2,87(1,3)	3,99(1,6)	2,68-21(2)	6,73-23(4,6)	-
Gan	7,45(0,9)	2,75(1,1)	2,76(1,1)	1,10-21(1,4)	1,95-23(4)	1,67-23(20)
Phổi	8,54(1,5)	3,28(0,8)	3,46(1)	1,34-21(1,5)	2,56-23(3,4)	-

Cơ	8,94(0,3)	3,75(0,2)	7,17(0,2)	1,37-20(0,1)	3,07-21(0,1)	-
Buồng trứng	5,68(5,4)	1,74(4,6)	0,70(9,5)	2,07-23(35)	-	1,39-24(0,8)
Tuyến tụy	5,54(2,7)	1,74(3)	0,79(4,2)	3,40-23(20)	-	5,3-21(0,04)
Tủy xương	6,63(0,4)	2,38(0,4)	2,74(0,3)	2,52-21(0,3)	2,54-22(0,3)	-
Da	8,76(0,3)	4,18(0,3)	13,5(0,2)	5,58-20(0,1)	2,64-20(0,1)	6,48-23(4,7)
Lá lách	7,33(2,6)	2,76(2,6)	2,59(3,5)	7,78-22(5,1)	5,89-24(17)	-
Tinh hoàn	10,3(3,4)	4,35(2,6)	10,4(2,6)	2,15-20(2)	3,85-21(2,2)	1,15-23(12)
Tuyến ức	7,70(2,5)	3,15(3,2)	3,98(5,2)	2,34-21(5,5)	5,93-23(14)	-
Tuyến giáp	12,9(2,5)	5,18(2,3)	9,32(2,8)	1,35-20(2,3)	1,73-21(2,8)	2,52-22(0,4)
Bàng quang	6,92(1,4)	5,27(2)	2,61(2)	1,23-21(3,4)	2,04-23(8)	
Tử cung	7,08(1,9)	2,76(2)	5,13(2,6)	1,23-20(9)	3,66-21(0,4)	

(*) Giá trị trong ngoặc đơn là sai số tương đối

Effective doses for external exposure from the photon radiation field of soil contamination

Tran Van Hung

Research and Development Center for Radiation Technology
Corresponding author: tranhungkeikonev@gmail.com

Received: 06-01-2017, Accepted: 25-10-2017, Published: 10-08-2018

Abstract – Organ and effective doses of adult for external exposure to photons uniformly distributed in soil were calculated using a MIRD-5 type phantom and MCNP code. The calculations were performed for mono-energetic photon sources with source energies from 0.01 MeV to 5 MeV. The effective dose coefficients in this calculation using MCNP code were compared to the calculated results in report of Keith F. Eckerman và Jeffrey C. Ryman.

Index Terms – Organ dose, effective dose, conversion coefficient, mird-5 phantom, mcnp code